

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000223762  
PUBLICATION DATE : 11-08-00

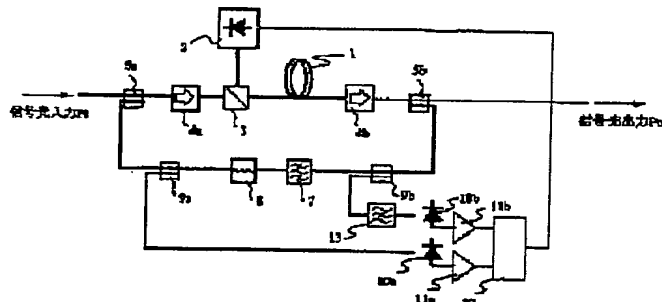
APPLICATION DATE : 29-01-99  
APPLICATION NUMBER : 11022415

APPLICANT : HITACHI CABLE LTD;

INVENTOR : KOBAYASHI MASAHIKO;

INT.CL. : H01S 3/10

TITLE : OPTICAL AMPLIFIER



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical amplifier which has a stable gain characteristic to input signal light power.

SOLUTION: In this optical amplifier which has a rare earth added optical fiber 1 which is excited by a exciting light and amplifies a light, and a feedback means which selectively feedbacks a light of a part of wavelength band out of amplified wavelength band to the rare earth added optical fiber 1, a first detecting means detecting amplified signal light and a part of spontaneous emission light, and a second detecting means detecting a part of a laser- oscillation light due to feedback, are installed. The power of an excited light is controlled on the basis of outputs of the first detecting means and the second detecting means.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-223762

(P2000-223762A)

(43) 公開日 平成12年8月11日 (2000.8.11)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

H01S 3/10

識別記号

F I

H01S 3/10

フーリエ変換 (参考)

Z 5 F 0 7 2

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全6頁)

(21) 出願番号

特願平11-22415

(22) 出願日

平成11年1月29日 (1999.1.29)

(71) 出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区大手町一丁目6番1号

(72) 発明者 小林 雅彦

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立

電線株式会社オプトロシステム研究所内

(74) 代理人 100088021

弁理士 網谷 信雄

Fターム (参考) 5F072 AB07 AK06 MW02 DW06 JJ05

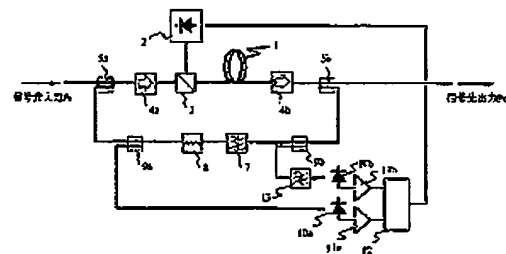
KK30 PP07 YY17

(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 入力信号光パワーに対して安定な利得特性を有する光増幅器を提供する。

【解決手段】 励起光に励起されて光を増幅する希土類添加光ファイバ1と、増幅波長帯内の一部の波長帯の光を選択的に前記希土類添加光ファイバ1に帰還させる帰還手段とを有する光増幅器において、増幅された信号光及び自然放出光の一部を検出する第一の検出手段と、前記帰還によりレーザ発振した光の一部を検出する第二の検出手段とを有し、前記第一の検出手段の出力と前記第二の検出手段の出力とに基づいて前記励起光の光パワーを制御する。



(2)

特開2000-223762

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 励起光に励起されて光を増幅する希土類添加光ファイバと、増幅波長帯内の一部の波長帯の光を選択的に前記希土類添加光ファイバに帰還させる帰還手段とを有する光増幅器において、増幅された信号光及び自然放出光の一部を検出する第一の検出手段と、前記帰還によりレーザ発振した光の一部を検出する第二の検出手段とを有し、前記第一の検出手段の出力と前記第二の検出手段の出力とに基づいて前記励起光の光パワーを制御することを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 前記第一の検出手段の出力の光パワーと前記第二の検出手段の出力の光パワーとの比が一定になるように前記励起光の光パワーを制御することを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

【請求項3】 前記帰還手段は、前記希土類添加光ファイバより増幅された光を取り出す光カプラと、前記希土類添加光ファイバに帰還される光を取り込む光カプラと、これら光カプラ間で前記波長帯の光を選択的に透過させるバンドパスフィルタとから構成されることを特徴とする請求項1又は2記載の光増幅器。

【請求項4】 前記帰還手段は、前記希土類添加光ファイバより増幅された光を取り出す光サーキュレータと、前記希土類添加光ファイバに帰還される光を取り込む光サーキュレータと、これら光サーキュレータ間で前記波長帯の光を選択的に透過させるバンドパスフィルタとから構成されることを特徴とする請求項1又は2記載の光増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、希土類添加光ファイバを用いた光増幅器に係り、特に、入力信号光パワーに対して安定な利得特性を有する光増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】希土類添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅器は、高利得、高出力、低雑音などの優れた特性を持つため、光通信システムの性能を大幅に向上させた。光ファイバ増幅器の原理は、添加した希土類イオンの励起準位に相当する波長を有する励起光を光ファイバに入射し、希土類イオンのエネルギー準位の反転分布により生ずる誘導放出現象を用いて信号光を増幅することにある。

【0003】特にエルビウム(Er)を添加した光ファイバ増幅器(以下、EDFAと略す)は、増幅波長帯が石英系光ファイバの最低損失波長帯(1.55μm帯)に一致し、しかも効率が良く、高利得、低雑音の増幅特性が容易に得られることから、広く実用に供されることとなった。

【0004】EDFAなどの光ファイバ増幅器を用いると、波長多重化された信号光を一括して増幅することが

できるので、波長多重による大容量で柔軟な伝送システムを経済的に構築することが可能となる。しかしながら、このような波長多重伝送システムにおいて、多重化されるチャンネル数がダイナミックに変動する場合、入力信号光強度の総和が変動するので、光ファイバ増幅器の飽和特性に従い、1波当たりの利得が変動することになる。

【0005】この利得変動を回避するために、光ファイバ増幅器に入力される信号光の強度と増幅された出力信号光の強度とをモニタし、両者の比が一定になるように励起光強度を制御する方法が考案されている。しかしながら、この方法では、光ファイバ増幅器の構成が複雑になると共に、広い入力範囲にわたり利得を高精度に安定化させるのが困難であり、また、入力信号光パワーの時間変動に対する過渡的な応答特性に問題がある。

【0006】別の方法として、増幅器内で発振を生じさせ、これにより利得の安定化を図る方法が考案されている。図3に示される光ファイバ増幅器は、通常の光ファイバ増幅器と同様に基本部分が、希土類添加光ファイバ1、励起光源2、信号光と励起光とを光合する光合波器3、入出力の光アイソレータ4a、4bからなる。発振を生じさせるために、この基本部分の入出力に光カプラ5a、5bを接続し、出力側から入力側への光帰還路を形成する。帰還経路には、光バンドパスフィルタ7と光減衰器8とが設けられている。

【0007】この構成において、増幅された光の一部が入力に帰還されることにより、光バンドパスフィルタ7の透過帯によって定まる光波長においてレーザ発振が生じる。レーザ発振が生じている状態においては、帰還ループの利得が1に固定されるので、希土類添加光ファイバ1における利得も一定に保たれ、その利得は帰還経路に設けられた光源減衰器8により調整することができる。

【0008】このような内部発振を用いた方法によれば、入力信号光パワーの時間変動に対する過渡的な応答特性も安定している。しかも、この方法では、複雑な電気的制御が不要である。図4に光帰還の有無による利得の入力信号光パワー依存性の違いを示す。光帰還のない場合(図中、制御なしに相当)には、利得は入力信号光パワーに依存して大きく変動するが、光帰還制御、即ち発振を行う場合(図中、制御ありに相当)には、利得が一定となる入力信号光パワーの範囲が大きい。また、制御のない場合には、入力信号光パワーに応じて利得の波長依存性も変化するが、制御のある場合には、利得が安定化されている範囲内においては利得の波長依存性も安定化される。

【0009】光帰還を用いた別の従来例を図5に示す。図3の従来例では、光ファイバ増幅器の基本部分の入出力に光カプラ5a、5bを接続して帰還経路を形成したが、その場合、光カプラによる過剰損失の増加が問題となる。また、パワーの大きな発振光の大部分がそのまま出

(3)

特開2000-223762

3

力されてしまうのも好ましくない。そこで、図5に示すような構成が提案されている。この光ファイバ増幅器の動作原理は、図3のものと似ているが、基本部分の入出力に光サーキュレータ6a、6bを配置したことにより、信号光の伝播方向とは逆方向の帰還経路が形成されている点異なる。即ち、信号光は、光サーキュレータ6aの端子Aより端子Bに至り、希土類添加光ファイバ1において増幅された後、光サーキュレータ6bの端子Bより端子Cに出力される。一方、希土類添加光ファイバ1において増幅された自然放出光は、光サーキュレータ6aの端子Bより端子Cに至り、光減衰器8、光バンドパスフィルタ7を経て、光サーキュレータ6bの端子Aより端子Bに出力され、再び希土類添加光ファイバ1に至る。このように自然放出光が帰還されることにより、レーザ発振が生じる。発振光は、信号光とは逆方向に伝播し、外部に出力されることがない。また、光サーキュレータ6a、6bは、図3の構成における光アイソレータ4a、4bの機能も兼ねるので、図3の構成に比べて信号光に過剰の損失を招くことがない。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】光帰還を用いた光ファイバ増幅器によれば、広い入力信号光パワー範囲に対して利得を一定に保つことができるが、その特性を詳細に見てみると厳密には一定の利得は保たれておらず、図4に示すように、入力信号光パワーが比較的大きな領域において、入力信号光パワーの増加とともに利得が漸減する傾向がある。

【0011】この入力信号光パワーに依存する利得変動は、スペクトラル・ホールバーニングに起因するものと考えられている。即ち、内部で強いレーザ発振が生じている場合、発振光周波数の近傍においてホールバーニングが生じるため、前後の波長帯に比べ利得が若干減少する。利得減少の度合いは発振光の強度に依存するが、入力信号光パワーが小さい領域では、励起光パワーの大部分が発振光パワーに変換されるのに対し、入力信号光パワーが大きい領域では、励起光パワーのうち信号光パワーに変換される割合が高まるので、発振光パワーは低下する。従って、ホールバーニングは弱くなる。

【0012】以上のことから、入力信号光パワーが小さい領域では、発振光パワーが強いために大きなホールバーニングが生じ、これにより発振光の近傍を除く増幅波長帯の利得が相対的に上昇し、入力信号光パワーが大きい領域では、発振光パワーが弱いためにホールバーニングが小さく、従って、上記のような利得上昇は生じない。これらにより、入力信号光パワーに依存して利得が変動することになる。

【0013】このような利得の変動は最大1dBにも達することが方向されており、光ファイバ増幅器を多段に接続した場合などに、その影響が顕著になることが懸念される。従って、入力信号光パワーに依存する利得変動を

4

さらに低減した新規な光ファイバ増幅器が望まれる。

【0014】そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、入力信号光パワーに対して安定な利得特性を有する光増幅器を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明は、励起光に励起されて光を増幅する希土類添加光ファイバと、増幅波長帯内の一部の波長帯の光を選択的に前記希土類添加光ファイバに帰還させる帰還手段とを有する光増幅器において、増幅された信号光及び自然放出光の一部を検出する第一の検出手段と、前記帰還によりレーザ発振した光の一部を検出する第二の検出手段とを有し、前記第一の検出手段の出力と前記第二の検出手段の出力とに基づいて前記励起光の光パワーを制御するものである。

【0016】前記第一の検出手段の出力の光パワーと前記第二の検出手段の出力の光パワーとの比が一定になるように前記励起光の光パワーを制御してもよい。

【0017】前記帰還手段は、前記希土類添加光ファイバより増幅された光を取り出す光カプラと、前記希土類添加光ファイバに帰還される光を取り込む光カプラと、これら光カプラ間で前記波長帯の光を選択的に透過させるバンドパスフィルタとから構成されてもよい。

【0018】前記帰還手段は、前記希土類添加光ファイバより増幅された光を取り出す光サーキュレータと、前記希土類添加光ファイバに帰還される光を取り込む光サーキュレータと、これら光サーキュレータ間で前記波長帯の光を選択的に透過させるバンドパスフィルタとから構成されてもよい。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態を添付図面に基いて詳述する。

【0020】本発明に係る光ファイバ増幅器を図1に示す。この光ファイバ増幅器は、励起光に励起されて光を増幅する希土類添加光ファイバ1と、増幅波長帯内の一部の波長帯の光を選択的に前記希土類添加光ファイバ1に帰還させる帰還手段とを有し、さらに、増幅された信号光及び自然放出光の一部を検出する第一の検出手段と、帰還によりレーザ発振した光の一部を検出する第二の検出手段とを有し、第一の検出手段の出力と第二の検出手段の出力とに基づいて励起光の光パワーを制御するようになっている。帰還手段には、光カプラ5a、5bが使用されており、この光ファイバ増幅器の基本的構成と動作とは図3の従来例と同様であるので重複する説明は省略し、第一の検出手段及び第二の検出手段について詳しく説明する。

【0021】図1の光ファイバ増幅器では、帰還経路の途中に光カプラ9a、9bが設けられており、これらの光カプラ9a、9bで光の一部を取り出すことができる。取り出した光は、受光器10a、10bによりその

(4)

特開2000-223762

5

6

パワを検出する。

【0022】ここで、光カブラ9bにより取り出された光は、さらに発振光成分のみを抑制する光バンドリジェクトフィルタ13を透過することにより発振光が除去される。発振光が除去されるので、受光器10bでは、信号光（自然放出光を含む）を検出することになる。即ち、光カブラ9b、光バンドリジェクトフィルタ13及び受光器10bは第一の検出手段を構成しているものである。一方、バンドパスフィルタ7を経た発振光の一部は光カブラ9aにより取り出される。光カブラ9aにより取り出された発振光の一部は、受光器10aで検出される。即ち、光カブラ9a及び受光器10aは第二の検出手段を構成しているものである。11a、11bは、電気的な増幅器である。

【0023】2つの受光器10a、10bで検出された信号光のパワと発振光のパワとの比を演算回路12で演算し、この比が一定になるように励起光源2の出力パワを制御する。

【0024】このような構成によれば、入力信号光パワが小さい場合には、検出される出力信号光パワも小さいので、発振光パワが出力信号光パワに対して一定の比率を保つように発振光パワを抑える方向に励起光パワが制御される。従って、強いスペクトラル・ホールバーニングが生じることはない。逆に、入力信号光パワが大きい場合には、検出される出力信号光パワが大きいので、発振光パワが出力信号光パワに対して一定の比率を保つように発振光パワを増やす方向に励起光パワが制御される。従って、入力信号光パワが大きい領域でも発振が維持され、利得が一定に保たれる。

【0025】上記のような励起光の制御により、発振光パワの増えたりホールバーニング効果に起因する利得の変動を抑え、広い入力信号光パワ範囲において利得を安定に保つことができ、かつ光帰還方式の利点である過渡的な入力パワ変動に対する安定な応答もそのまま維持できる。

【0026】次に、本発明の他の実施形態を説明する。

【0027】図2に示した光ファイバ増幅器は、励起光に励起されて光を増幅する希土類添加光ファイバ1と、増幅波長帯内の一部の波長帯の光を選択的に前記希土類添加光ファイバ1に帰還させる帰還手段とを有し、さらに、増幅された信号光及び自然放出光の一部を検出する第一の検出手段と、帰還によりレーザ発振した光の一部を検出する第二の検出手段とを有し、第一の検出手段の出力と第二の検出手段の出力とに基づいて励起光のパワを制御するようになっている。帰還手段には、光サーキュレータ6a、6bが使用されており、この光ファイバ増幅器の基本的構成と動作とは図5の従来例と同様であるので重複する説明は省略する。

【0028】図2の光ファイバ増幅器では、帰還経路の途中で光カブラ9aが設けられると共に、信号光出力側

に光カブラ9bが設けられており、これらの光カブラ9a、9bで光の一部を取り出すことができる。取り出した光は、受光器10a、10bによりそのパワを検出する。増幅された信号光の一部を光カブラ9bにより取り出して前記の実施形態のものと同様に受光器10bで検出し、発振光の一部を光カブラ9aにより帰還経路の途中で取り出して前記の実施形態のものと同様に受光器10aで検出し、検出された信号光のパワと発振光のパワとの比が一定になるように励起光源2の出力パワを制御する。

【0029】この構成では、図5の従来例で説明したように、発振光が信号光とは逆方向に伝播し、外部に出力されることがないので、図1の構成で用いた光バンドリジェクトフィルタ13は必要ない。

【0030】図2の構成によれば、図1の構成と同様、入力信号光パワが小さい場合には、発振光パワも抑えられるので、ホールバーニング効果による利得変動がなく、広い入力信号光パワ範囲において利得を一定に維持することができる。

【0031】本発明は、図1、図2の実施形態に限らず、光帰還を用いて利得を安定化するあらゆる光ファイバ増幅器に適用し、利得の入力信号光パワ依存性を改善することができる。

【0032】

【発明の効果】本発明は次の如き優れた効果を奏する。

【0033】（1）光帰還により発振することを入力信号光パワの変動によらず利得が一定となる光ファイバ増幅器において、励起光の光パワを制御するようにしたので、利得が一定となる入力信号光パワの範囲が大きくなる。

【0034】（2）出力信号光パワと発振光パワとの比が一定になるように励起光の光パワを制御するので、発振光によるスペクトラル・ホールバーニングを抑えて利得の入力信号光パワ依存性を低減することができる。

【0035】（3）過渡応答特性が安定で、しかも利得の波長依存性が安定な光ファイバ増幅器が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態を示す光増幅器の構成図である。

【図2】本発明の他の実施形態を示す光増幅器の構成図である。

【図3】従来例の光増幅器の構成図である。

【図4】従来例の光増幅器における利得の入力信号光パワ依存性を示す特性図である。

【図5】従来例の光増幅器の構成図である。

【符号の説明】

1 希土類添加光ファイバ

2 励起光源

5a、5b 光カブラ

(5)

特開2000-223762

8

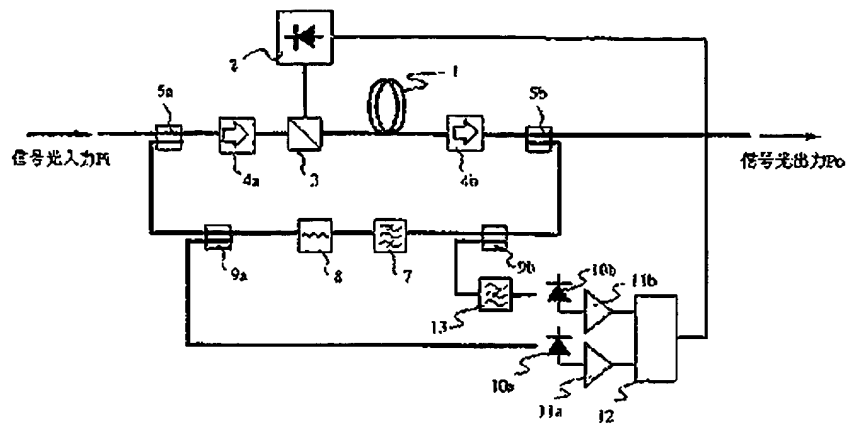
6a, 6b 光サーキュレータ  
9a, 9b 光カプラ  
10a, 10b 受光器

\* 12 演算回路

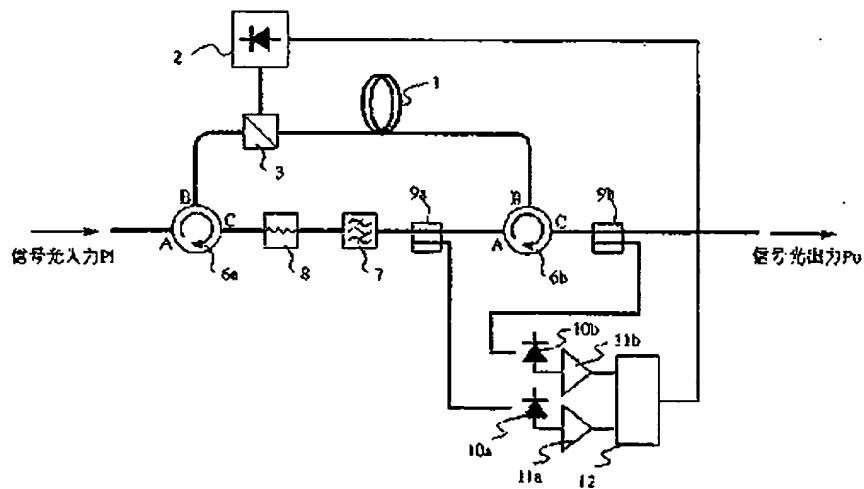
13 光バンドリジエクトフィルタ

\*

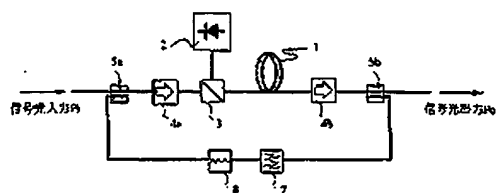
【図1】



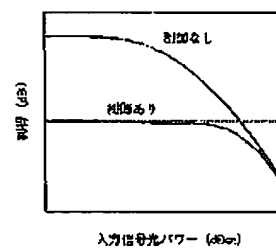
【図2】



【図3】



【図4】



(6)

特開2000-223762

【図5】

